

М. А. Зорина^{1*}, Г. А. Тереня¹, М. С. Карабаналов¹, А. С. Карабаналова²

¹ Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

² АО «Уралхиммаш», г. Екатеринбург

*m. a.zorina@urfu.ru

Научные руководители — доц., канд. техн. наук С. В. Беликов,

доц., канд. техн. наук А. Ю. Жилияков

СТРУКТУРНОЕ И ТЕКСТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ СПЛАВА НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ ПОСЛЕ ДЕФОРМАЦИИ

Методом ориентационной микроскопии (ДОЭ/EBSD) исследовано структурное и текстурное состояние сплава на основе никеля (Ni—Cr—Mo) после холодной прокатки. Показано, что в ходе деформации формируется многокомпонентная текстура прокатки: $\{110\}\langle 112\rangle$, $\{110\}\langle 100\rangle$ и $\{110\}\langle 111\rangle$. После деформации в структуре присутствуют двойники и полосы сдвига. Ориентировка кристаллической решетки в полосах сдвига близка к $\{110\}\langle 001\rangle$. Данная ориентация связана с переориентацией матрицы поворотом вокруг поперечного направления (ось поворота $\sim \langle 011\rangle$) на угол $\sim 37^\circ$. Подобная разориентировка соответствует специальной разориентации, близкой к PCY $\Sigma 9$ (39° , ось $\langle 011\rangle$).

Ключевые слова: ГЦК-металл, холодная прокатка, полосы сдвига, текстура.

M. A. Zorina, G. A. Terenya, M. S. Karabanalov, A. S. Karabanalova

STRUCTURAL AND TEXTURAL STATE NICKEL-BASED ALLOY AFTER DEFORMATION

The structural and textural state of the nickel-based alloy (Ni—Cr—Mo) after cold rolling was studied by orientation microscopy (EBSD). It is shown that is formed complex rolling texture: $\{110\}\langle 112\rangle$, $\{110\}\langle 100\rangle$ and $\{110\}\langle 111\rangle$, during deformation. There are shear bands in the structure after deformation. The orientation of the crystal lattice in the shear band is close to $\{110\}\langle 001\rangle$. This orientation is bound with the orientation of the matrix by rotation around the TD (axis $\sim \langle 011\rangle$) through an angle of $\sim 37^\circ$. Such a misorientation corresponds to the CSL $\Sigma 9$ (39° , axis $\langle 011\rangle$).

Key words: FCC-metal, cold rolling, shear bands, texture.

Исследования структурно-текстурных состояний в ГЦК-металлах с низкой и средней величиной энергии дефекта упаковки представляют большой интерес в настоящее время [1–3]. Осо-

бое внимание уделяется вопросам формирования в ходе деформации и рекристаллизации таких элементов мезоструктуры, как двойники и полосы сдвига (ПС). Данные элементы мезоструктуры оказывают влияние на формирование текстурного состояния в ходе отжига и, как следствие, оказывают влияние на функциональные свойства изделий из ГЦК-металлов.

Цель работы состояла в установлении структурного и текстурного состояния материала с ГЦК-решеткой после деформации на примере сплава на основе никеля. Материалом для исследования был выбран никелевый суперсплав (Ni–Cr–Mo), используемый в коррозионной среде при высоких температурах. В лабораторных условиях был смоделирован процесс холодной прокатки листа в плоских валках (диаметр валков много больше, чем поперечное сечение изделия). Степень деформации составила $\sim 0,7$. Текстуальный анализ проводили методом дифракции отраженных электронов (ДОЭ/EBSD) на двулучевом электронно-ионном микроскопе (системе) ZEISS CrossBeam AURIGA.

В ходе деформации было получено структурное состояние, представленное на рис. 1. Зерна сильно вытянуты вдоль направления прокатки (НП), в поперечном сечении размер зерен составлял от 10 до 40 мкм. Также структурный анализ показал наличие большого числа деформационных двойников и ПС. Их количество и ширина отличались в различных зернах, причем в некоторых зернах присутствовали пересекающиеся полосы.

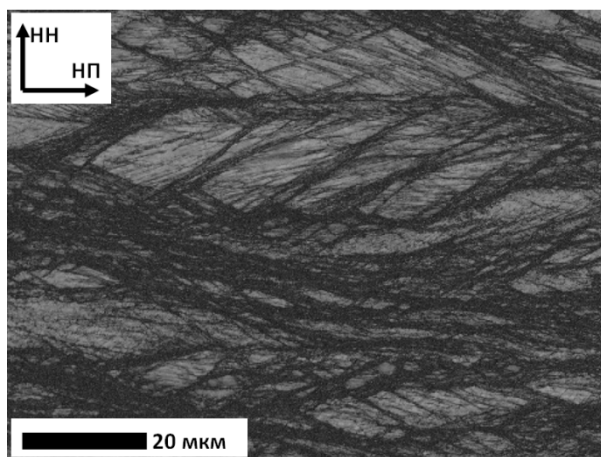


Рис. 1. Структурное состояние сплава после деформации

Для оценки деформационного состояния после холодной прокатки был проведен текстурный анализ листа по всему сечению. Интеграль-

ная текстура представляет собой выраженную многокомпонентную текстуру прокатки (ТП) ГЦК-металлов: сильная компонента $\{110\}\langle 112\rangle$ и более слабые компоненты $\{110\}\langle 100\rangle$ и $\{110\}\langle 111\rangle$ (рис. 2). Все текстурные компоненты являются типичными ТП для ГЦК-металлов [4]. Как правило, в ходе прокатки в поверхностной зоне листа формируется текстура сдвига, отличная от ТП, но в данном случае по всему сечению листа присутствуют только компоненты ТП. По-видимому, это связано с условиями проведения эксперимента: прокатка проводилась без натяжения, при большом диаметре валков.

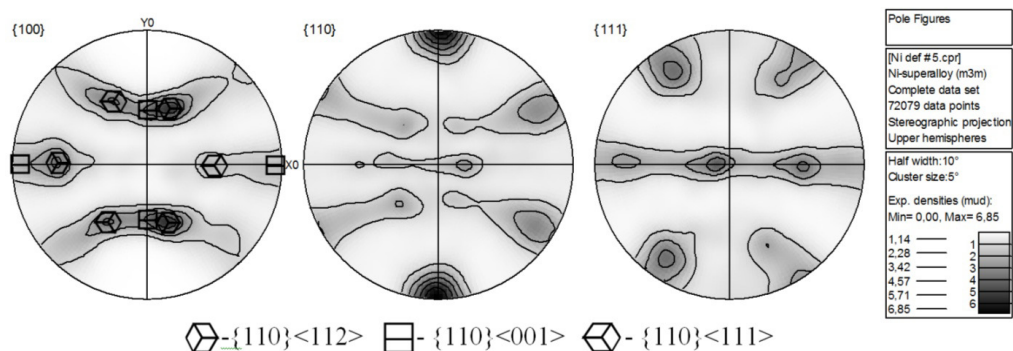


Рис. 2. ППФ интегральной текстуры после деформации с расшифровкой текстурных компонент

Также в данной работе рассмотрены вопросы взаимосвязи ориентировок матрицы и кристаллитов внутри полос сдвига. Из-за повышенной плотности дислокаций внутренняя структура большинства ПС не поддавалась идентификации. В связи с этим были определены только ориентировки отдельных элементов внутри ПС и матрицы, в которой они образовались (рис. 3).

Текстурный анализ показал, что кристаллическая решетка внутри ПС имеет ориентировку, близкую к $\{110\}\langle 001\rangle$ (рис. 3). Все ППФ (рис. 3, б–г), соответствующие ориентационной карте (рис. 3, а), показывают, что ориентировки объектов мезоструктуры сильно рассеяны. Ориентировка матрицы $\{110\}\langle 112\rangle$ не является абсолютно стабильной. Ориентации матрицы и элементов мезоструктуры связаны друг с другом поворотом на угол $\sim 37^\circ$ вокруг оси $\langle 011\rangle$, параллельной ПН. Подобная разориентировка соответствует специальной разориентации РСУ $\Sigma 9$ (39° , ось $\langle 011\rangle$) между ПС и матрицей, зафиксированной в металлах с ОЦК-решеткой [5, 6].

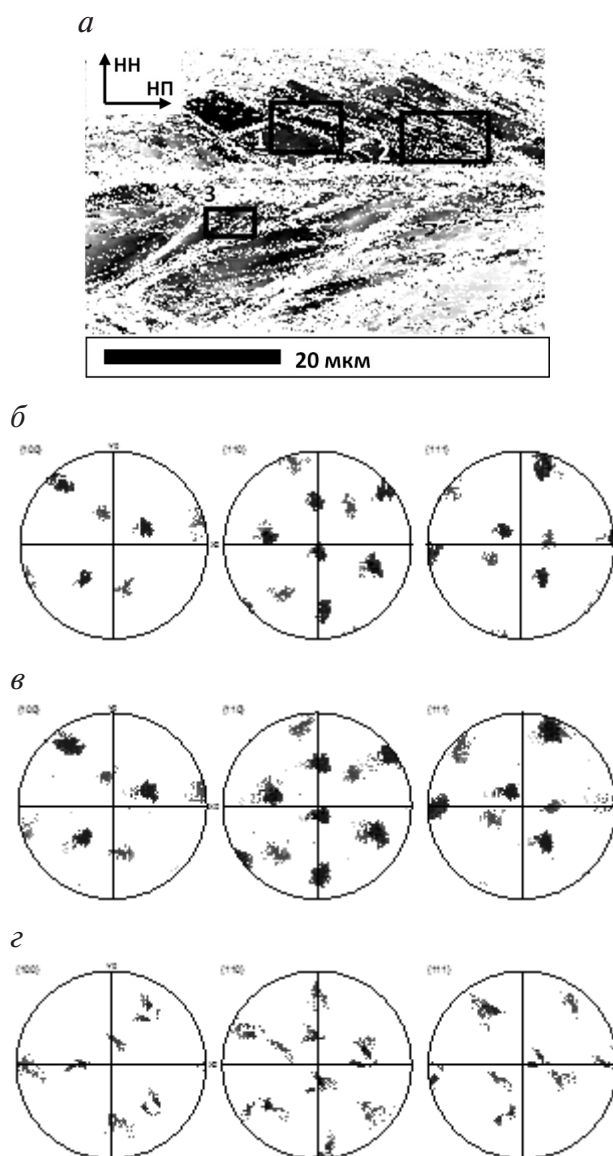


Рис. 3. Микроструктура и текстура области листа после холодной прокатки:
a — ориентационная карта с НП; *б–г* — ППФ $\{100\}$, $\{110\}$, $\{111\}$, соответствующие
 микрообластям 1–3, выделенным на *a* прямоугольниками

Установлено, что в ходе холодной прокатки сплава на основе никеля (Ni–Cr–Mo) формируется многокомпонентная текстура прокатки: сильно выраженная компонента $\{110\}\langle 112 \rangle$ и менее выраженные компоненты $\{110\}\langle 100 \rangle$ и $\{110\}\langle 111 \rangle$. Ориентировка кристаллической решетки в полосе сдвига является близкой к $\{110\}\langle 001 \rangle$. То есть образова-

ние данных ПС в матрице $\{110\}\langle 112\rangle$ можно представить как поворот вокруг ПН (близкого к кристаллографическому направлению $\langle 011\rangle$) на угол $\sim 37^\circ$. Подобная разориентировка соответствует специальной разориентации РСУ $\Sigma 9$ ($38,94^\circ$, ось $\langle 011\rangle$) между ПС и матрицей.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант 18–79–00126).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Penelle R., Baudin T. Primary recrystallization of invar, Fe — 36 % Ni alloy: Origin and development of the cubic texture // Adv. Eng. Mater. 2010. V. 12, № 10. P. 1047–1052.
- 2 Perfect cubic texture, structure, and mechanical properties of nonmagnetic copper-based alloy ribbon substrates / Y. V. Khlebnikova, D. P. Rodionov, I. V. Gervas'eva [et al.] // Tech. Phys. 2015. V. 60, № 3. P. 389–399.
- 3 Primary recrystallization texture in FCC–Metal with low packing defect energy / M. A. Zorina [et al.] // Metal Science and Heat Treatment. 2018. V. 60. Nos. 5–6. P. 329–336.
- 4 Вишняков Я. Д., Бабарэко А. А. Теория образования текстур в материалах и сплавах. М. : Наука. 1979. 343 с.
- 5 Model of $\{110\}\langle 001\rangle$ Texture Formation in Shear Bands during Cold Rolling of Fe-3 Pct Si Alloy / G. M. Rusakov, M. L. Lobanov, A. A. Redikultsev [et al.] // Metallurgical and materials transactions. 2009. V. 40A, № 5. P. 1023–1025.
- 6 Rusakov G. M., Redikultsev A. A., Lobanov M. L. Formation mechanism for the orientation relationship between $\{110\}\langle 001\rangle$ and $\{111\}\langle 112\rangle$ grains during twinning in Fe-3 pct Si alloy // Metallurgical and Materials Transactions A. 2008. V. 39, № 10. P. 2278–2280.